Морской гидрофизический институт РАН
Севастополь

Роль динамических параметров вод в формировании концентрации хлорофилла «а» в районе плато Кергелен

Отклик хлорофилла-а на сильные ветровые воздействия в сезоне 2014/15 гг.

Бакуева Я.И., Кубряков А.А., Кубрякова Е.А.

XXIV Международная конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса»
ИКИ РАН, Москва, 9–13 ноября 2026 г.

Почему важны кратковременные ветровые события

Плато Кергелен относится к районам повышенной биологической продуктивности Южного океана.

Цветение фитопланктона здесь зависит от сезонного хода освещённости и стратификации, циркуляции, фронтальных процессов и взаимодействия океана с атмосферой.

Сильный ветер усиливает перемешивание и меняет вертикальный обмен в верхнем слое океана. Фитопланктон может откликаться на это не сразу.

ВОПРОС РАБОТЫ

Через сколько суток после пика ветра проявляется отклик хлорофилла-a?

Цель и задачи

Цель: выявить временную связь между сильными ветровыми воздействиями и развитием фитопланктонного цветения и оценить характерный интервал между атмосферным воздействием и откликом хлорофилла-a.

1. Описать пространственно-временную изменчивость Chl-a и площади цветения в сезоне 2014/15 гг.
2. Рассчитать сезонные аномалии ветра, экмановской накачки, ТПМ, АДТ и геострофической циркуляции относительно климатологии 2002–2020 гг.
3. Выделить сильные ветровые события.
4. Проследить последовательность: ветер → экмановская накачка → ТПМ и АДТ → хлорофилл-a.
5. Оценить задержку между пиком ветра и откликом Chl-a.

Данные и район исследования

Параметр	Источник	Разрешение
Хлорофилл-a	Aqua/MODIS	8 сут
ТПМ	Reynolds SST	7 сут
АДТ	Copernicus Marine	0,125°, 1 сут
Ветер на 10 м	ERA5	6 ч

По ветру ERA5 рассчитаны скорость и напряжение ветра и экмановская накачка. Дополнительно: геострофические скорости и вихревая кинетическая энергия (EKE).

Параметры анализа

Район: 46–52° ю. ш., 68–85° в. д.

Сезон: ноябрь 2014 – март 2015 г.

Климатология: 2002–2020 гг.

Цветение: площадь, где Chl-a > 1,0 мг/м^3

Аномалии нормированы на межгодовое стандартное отклонение σ

Событийный композитный анализ

1

Выделение события

Аномалия скорости ветра больше 1,5σ

2

Точка отсчёта

t = 0 — дата максимума ветровой аномалии

3

Композит

Средние аномалии в окнах после t = 0, усреднение по 4 событиям

Окна после пика ветра, сутки (анализ на 64 суток)

0–8	8–16	16–24	24–32	32–48	48–64

Дискретность данных Chl-a — 8 суток. Интерполяция только согласует ряды и не повышает разрешение.

Сезон 2014/15: цветение выше климатической нормы

≈310 тыс. км²

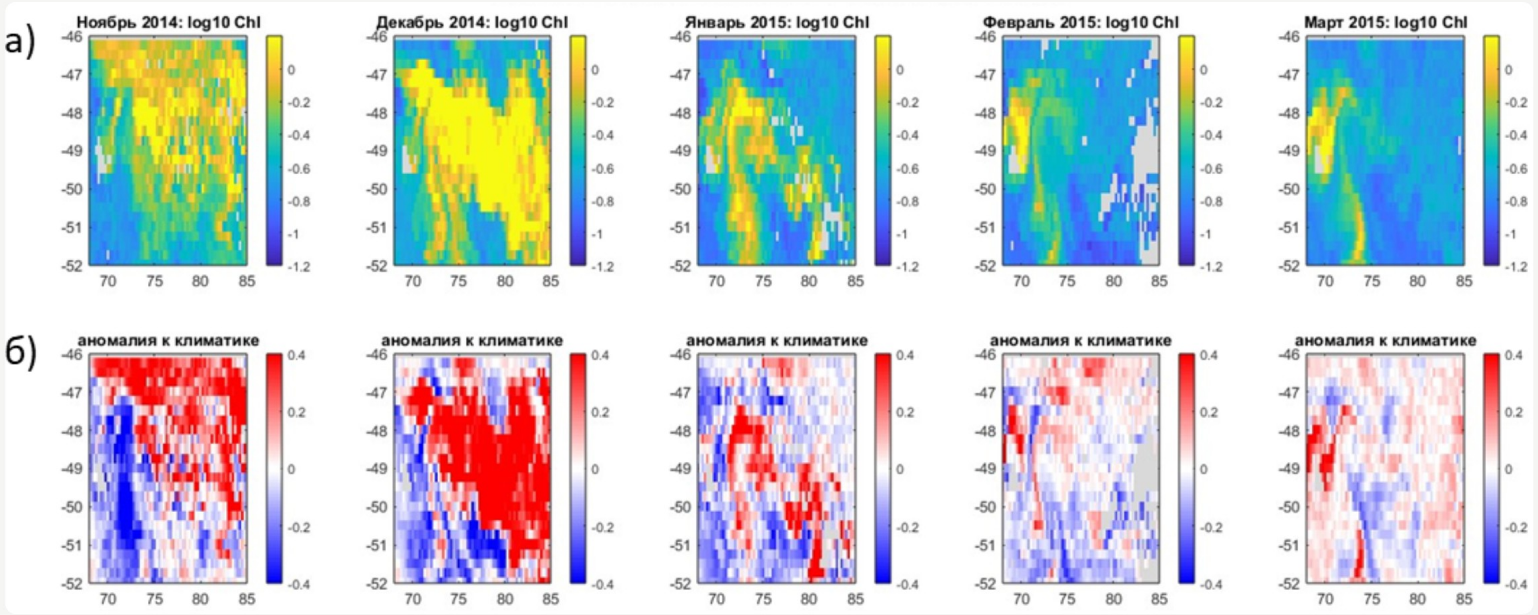
максимальная площадь цветения, 23 декабря 2014 г.

0,96 мг/м³

максимальная средняя Chl-a, 7 декабря 2014 г.

+0,97σ / +1,28σ

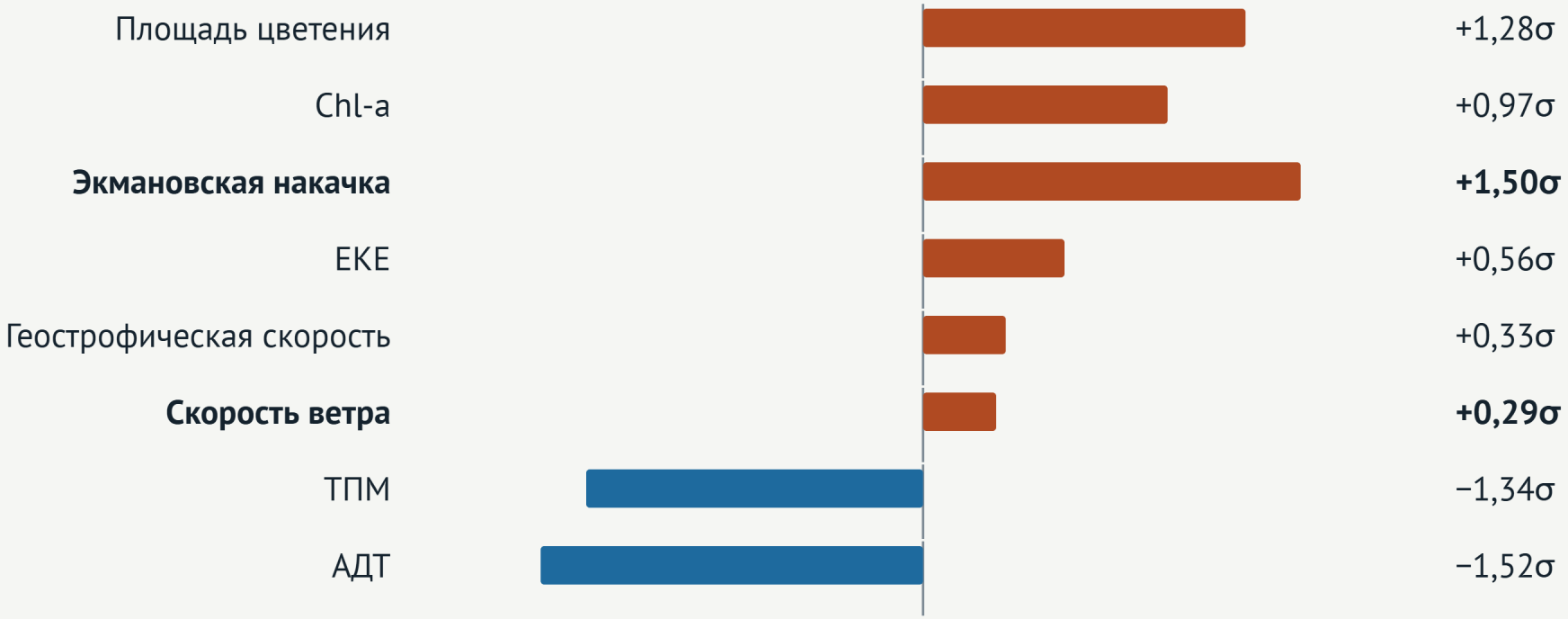
аномалии Chl-a и площади цветения за сезон



Среднемесячные $\log_{10}$Chl-a (вверху) и аномалии относительно климатологии (внизу), ноябрь 2014 – март 2015 г.

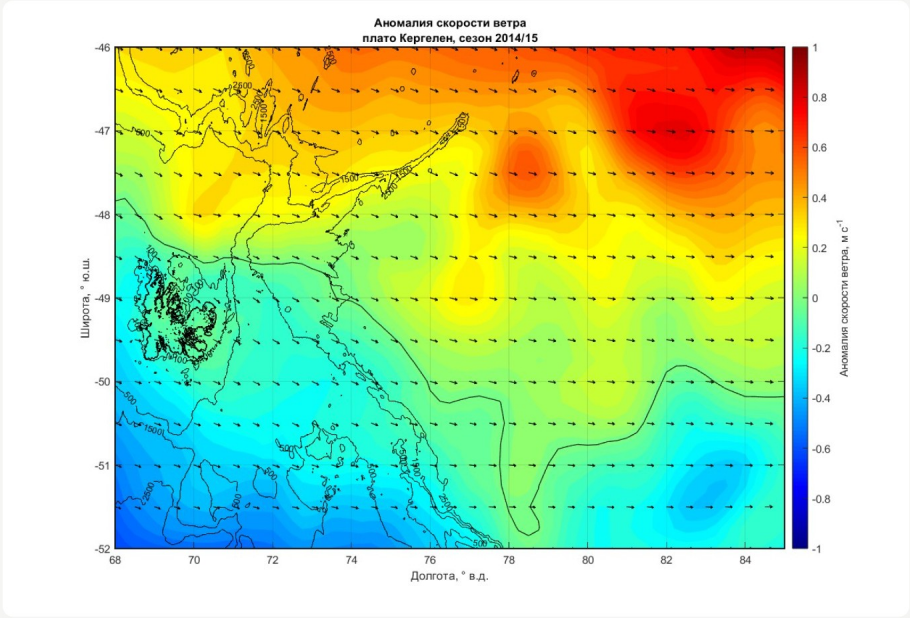
Сезон продуктивнее среднего, но не экстремальный. Аномалии распределены по району неоднородно.

Сезонные аномалии: ветер близок к норме, накачка усилена

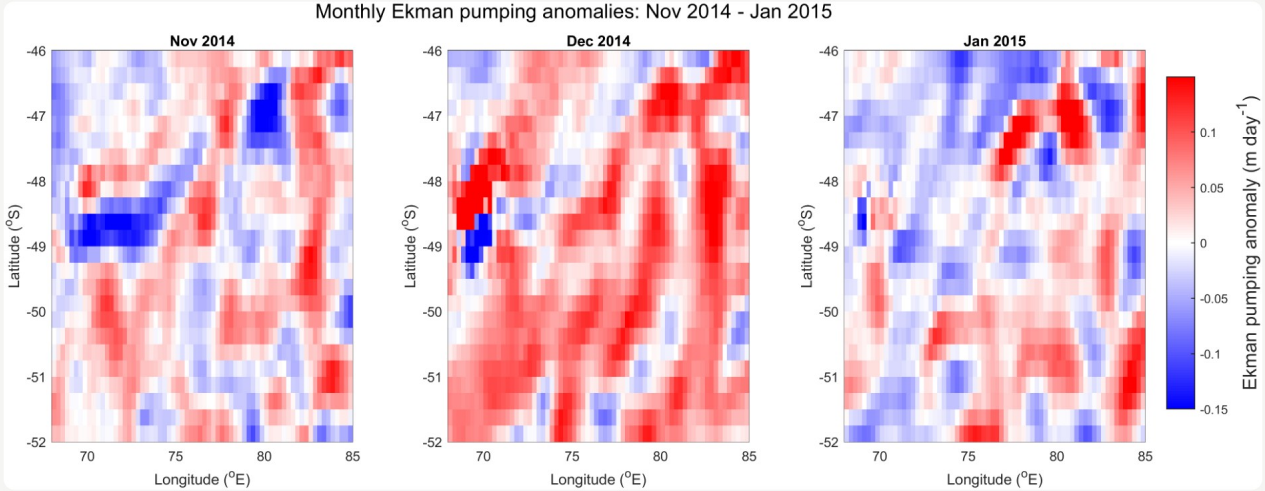


Средний ветер за сезон: +0,29σ, экмановская накачка: +1,50σ. Сезонное усреднение могло сгладить отдельные сильные события, поэтому они рассмотрены отдельно.

Пространственная структура ветра и экмановской накачки



Аномалия скорости ветра, сезон 2014/15 гг.



Среднемесячные аномалии экмановской накачки, ноябрь 2014 – январь 2015 г.

Совпадение областей сильного ветра и повышенной накачки показывает согласованность полей, но само по себе не доказывает механизм вертикального переноса.

Четыре сильных ветровых события

№	Период	Дата максимума	Аномалия	Макс. скорость
1	27 ноября	27 ноября	+2,96σ	13,74 м/с
2	9–10 декабря	10 декабря	+3,72σ	13,76 м/с
3	14 февраля	14 февраля	+2,96σ	13,52 м/с
4	5 марта	5 марта	+3,33σ	13,89 м/с

Критерий: аномалия скорости ветра больше 1,5σ (ERA5). Ноябрь – декабрь 2014 г., февраль – март 2015 г.

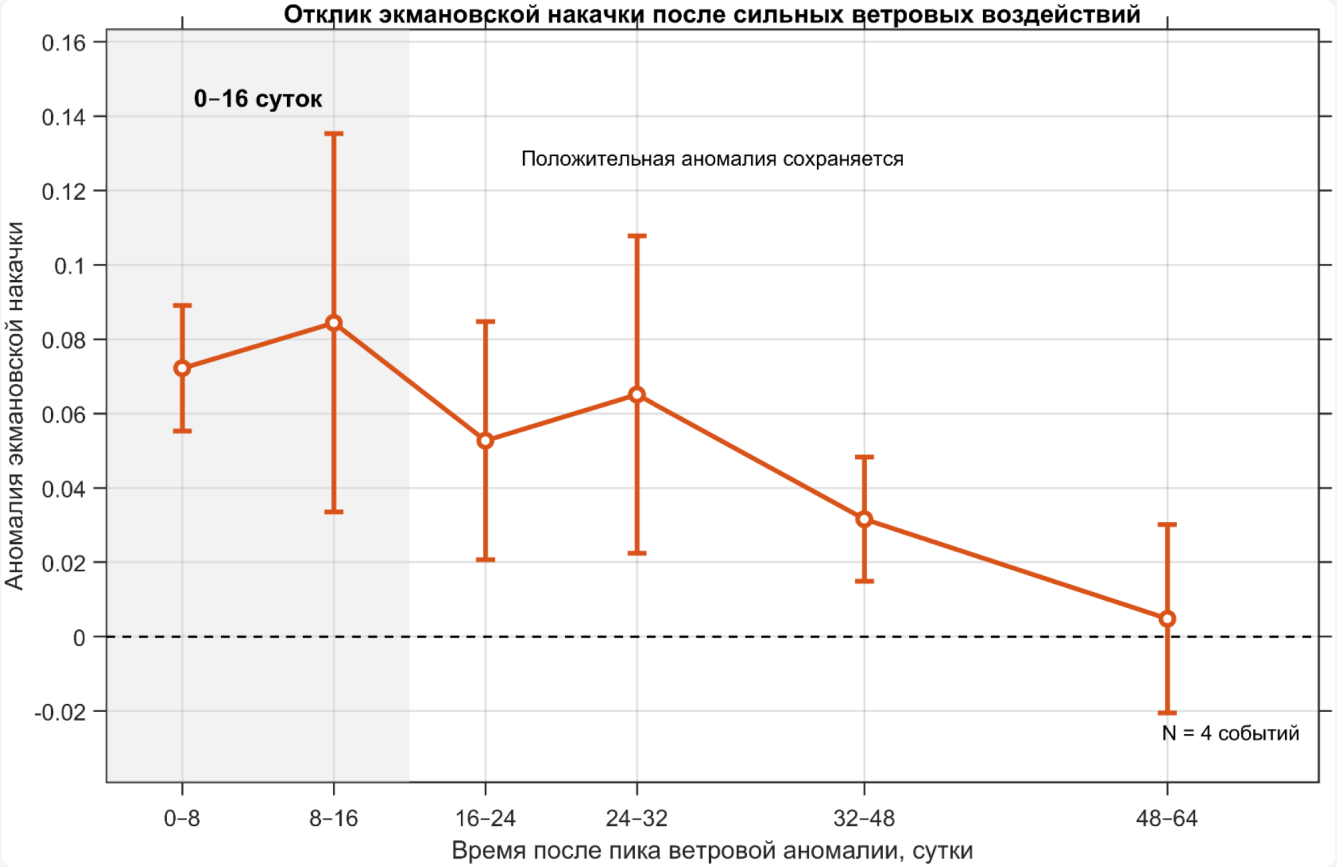
+3,72σ

максимальная аномалия, 10 декабря 2014 г.

+0,29σ

средняя аномалия скорости ветра за сезон

Экмановская накачка: максимум на 8–16-е сутки



+0,072 м/сут
0–8 суток

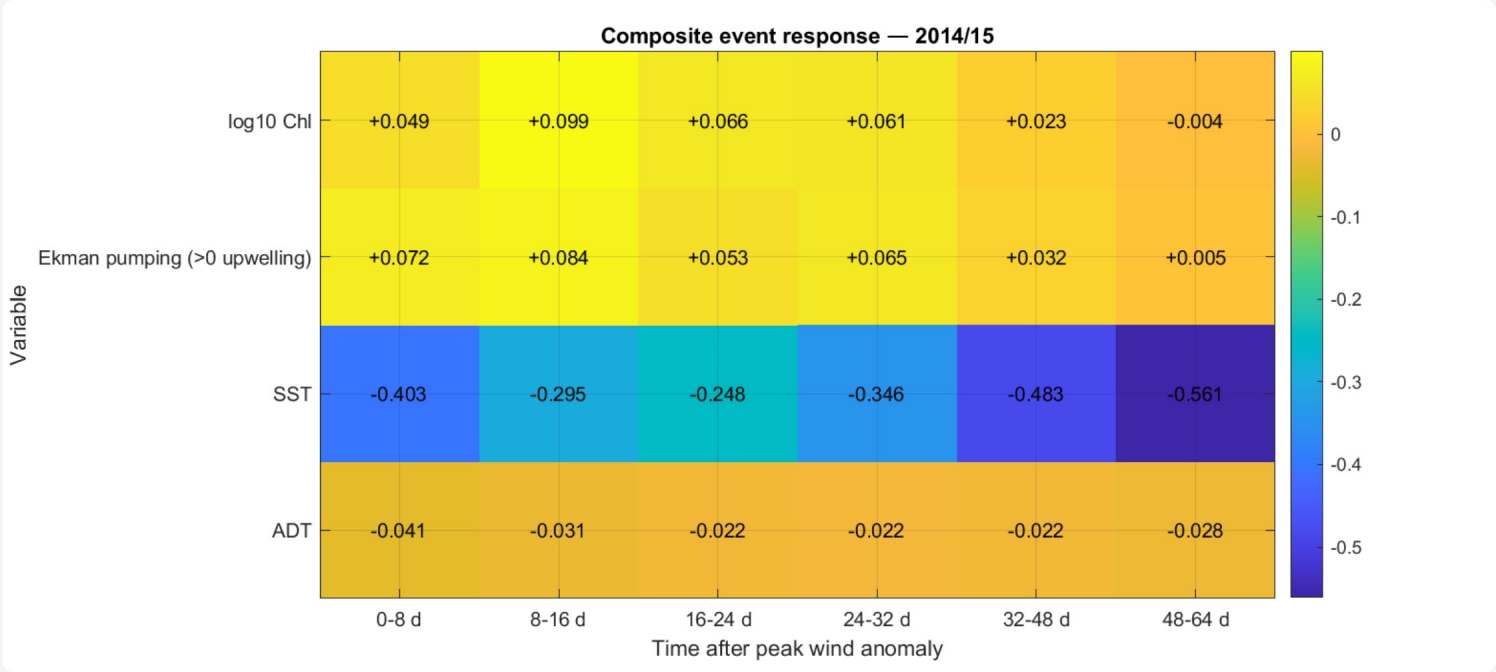
+0,084 м/сут
8–16 суток, максимум

+0,032 м/сут
32–48 суток

+0,005 м/сут
48–64 суток, почти норма

Положительные значения — подъём вод. Усы — разброс по 4 событиям.

ТПМ и АДТ ниже нормы весь период после события



ТПМ

−0,40 °C на 0–8 сут
−0,25 °C на 16–24 сут
−0,56 °C на 48–64 сут

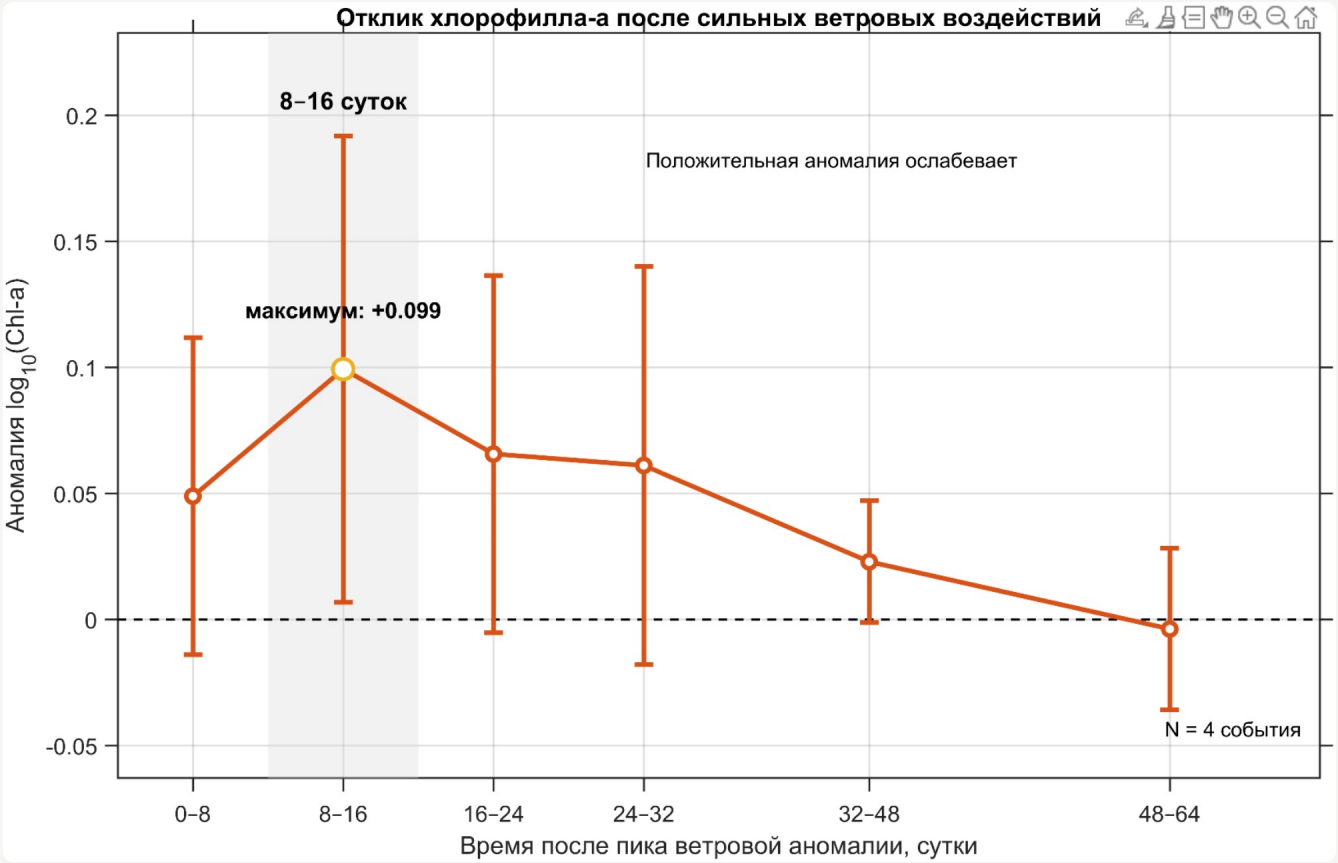
АДТ

−0,041 м на 0–8 сут
далее от −0,02 до −0,03 м

Композитные аномалии по окнам после пика ветра (строки: $\log_{10}$Chl-a, накачка, ТПМ, АДТ).

Похолодание совместимо с вовлечением более холодных вод в верхний слой, но вклад перемешивания и адвекции по этим данным не разделить.

Хлорофилл-а откликается с задержкой 8–16 суток



+0,049
0–8 суток

+0,099
8–16 суток, максимум

+0,061
24–32 суток

−0,004
48–64 суток, отклика нет

Аномалии $\log_{10}$Chl-a. Усы — разброс по 4 событиям.

Последовательность после сильного ветра



Задержка ≈ 8–16 суток

Это временная согласованность атмосферных, гидродинамических и биологических изменений. Причинная связь ею не доказана.

Выводы

1. Сезон 2014/15 гг. был продуктивнее климатической нормы: аномалия Chl-a +0,97σ, площади цветения +1,28σ.
2. Средний ветер за сезон близок к норме (+0,29σ), но выделено четыре сильных события с аномалиями от +2,96σ до +3,72σ.
3. После сильного ветра экмановская накачка усиливается, сильнее всего в первые 16 суток.
4. ТПМ и АДТ остаются ниже нормы до конца 64-суточного окна.
5. Максимум аномалии Chl-a приходится на 8–16-е сутки после пика ветра; к 48–64-м суткам отклик исчезает.
6. Эта последовательность согласуется с влиянием ветра на условия развития фитопланктона, но причинную связь не доказывает.

Спасибо за внимание

Бакуева Я.И., Кубряков А.А., Кубрякова Е.А.
Морской гидрофизический институт РАН, Севастополь